



①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

⑫ Off nl gungsschrift
⑩ DE 100 36 942 A 1

⑤ Int. Cl. 7:
F 01 N 11/00

②① Aktenzeichen: 100 36 942.1
②② Anmeldetag: 28. 7. 2000
④③ Offenlegungstag: 8. 5. 2002

DE 100 36 942 A 1

⑦① Anmelder:
Volkswagen AG, 38440 Wolfsburg, DE

⑦④ Vertreter:
Weser & Kollegen, 81245 München

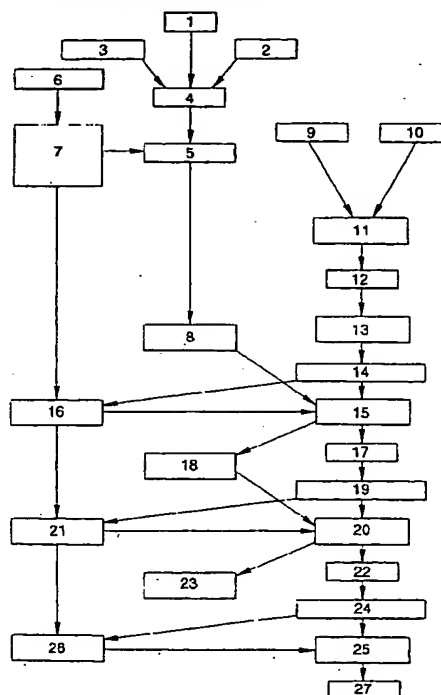
⑦② Erfinder:
Pott, Ekkehard, 38518 Gifhorn, DE; Gottschling,
Martina, 38114 Braunschweig, DE

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Rechercheantrag gem. Paragraph 43 Abs. 1 Satz PatG ist gestellt

⑤④ Verfahren zur Bestimmung der Temperaturverteilung eines NO_x-Katalysators

⑤⑦ In einem Verfahren zur Bestimmung der Temperatur eines Katalysators einer Brennkraftmaschine wird der Katalysator in n Scheiben, $n > 1$, in seiner axialen Richtung aufgeteilt und die Temperatur jeder Scheibe als Funktion der Temperatur des die Scheibe anströmenden Abgases bestimmt, wobei die radiale Temperaturverteilung als konstant angenommen und eine adiabatische Wärmeübertragung zwischen dem Abgas und der Katalysator-scheibe n berechnet wird.



DE 100 36 942 A 1

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Bestimmung der Temperaturverteilung eines Katalysators, insbesondere eines NOx-Speicherkatalysators. Anhand einer derartigen Temperaturverteilung kann in einem entsprechenden Verfahren der Betriebsmodus bei magerbetreibbaren Brennkraftmaschinen bestimmt werden.

[0002] Heutige magerbetreibbare Brennkraftmaschinen, beispielsweise direkteinspritzende Brennkraftmaschinen, ob nun direkteinspritzende Otto- oder Dieselmotoren, erzeugen während des Magerbetriebs umweltschädigende Stickoxide NOx. Diese Stickoxide werden während des Magerbetriebs der Brennkraftmaschine in einem der Brennkraftmaschine nachgeschaltetem NOx-Speicherkatalysator gespeichert. Aufgrund der endlichen Aufnahmekapazität des NOx-Speicherkatalysators wird das gespeicherte NOx unter gleichzeitiger Reduktion zu Stickstoff N2 durch einen kurzzeitigen Fettbetrieb der Brennkraftmaschine freigesetzt. Um zur Verminderung des Kraftstoffverbrauchs und der Emissionen den Betriebsmodus der Brennkraftmaschine so präzise wie möglich steuern zu können, sind möglichst genaue Kenntnisse der Zustände im Abgasreinigungssystem notwendig, beispielsweise um den Zeitpunkt des Beginns und des Endes der Regeneration eines NOx-Speicherkatalysators bestimmen zu können.

[0003] Daher können Kenntnisse über den Verlauf der Temperatur im Katalysator beitragen, den Betrieb einer Brennkraftmaschine genauer auf die Randbedingungen und Grenzen des Abgasreinigungssystems abzustimmen, wobei insbesondere zu nennen sind:

- Anreicherung eines Ottomotors im oberen Teillast- und Vollastbereich zur Begrenzung der Katalysatortemperatur;
- Änderung des Betriebsmodus bei magerlauffähigen Ottomotoren (Saugrohreinsepritzer mit homogenem Magerbetrieb, Direkteinspritzer mit homogenem und geschichtetem Magerbetrieb) im Bereich der NOx-Thermo-Desorption von NOx-Speicherkatalysatoren (um 550°C, je nach NOx-Speicherkatalysatorsystem);
- Ergreifen von abgas- und/oder katalysatortemperatursteigernden Maßnahmen bei Auskühlung des Katalysators nahe an die Ansprings temperatur;
- Aussetzen von abgas- und/oder katalysatortemperatursteigernden Maßnahmen nach Auskühlung und nachfolgendem Erwärmen eines hinreichend großen Bereichs des Katalysators, und
- Sicherstellen einer hinreichenden Erwärmung eines ausreichend großen Bereichs des Katalysators bei der Entschwefelung.

[0004] Beim gegenwärtigen Stand der Technik kann die Katalysatortemperatur beispielsweise durch Messen der Abgastemperatur sowohl vor als auch hinter dem Katalysator ermittelt werden. Sie kann auch durch Messen der Abgastemperatur vor dem Katalysator und Errechnen einer homogenen Katalysatortemperatur, überwiegend durch Analyse des Wärmeübergangs zwischen Katalysator und Abgas, bestimmt werden. Mit der so bestimmten, mittleren Katalysatortemperatur sind jedoch Effekte, die im dynamischen Betrieb durch inhomogene Temperaturverteilung im Katalysator auftreten können, nicht zu erfassen. So kann beispielsweise durch eine mittlere, ermittelte NOx-Speicherkatalysatortemperatur nahe der NOx-Thermo-Desorptionsschwelle nicht erfaßt werden, ob bei sehr großen tatsächlichen Temperaturdifferenzen zwischen der vordersten und der hintersten Katalysatorzone bereits aus der vordersten Katalysatorzone NOx thermo-desorbiert wird und somit ein NOx-Durchbruch erfolgt. Um solche Effekte auszuschließen, weist die errechnete Katalysatortemperaturschwelle, bei der bei magerlauffähigen Brennkraftmaschinen zur Vermeidung von NOx-Durchbrüchen auf $\Lambda = 1$ - Betrieb umgeschaltet wird, einen großen Sicherheitsabstand zur tatsächlichen Thermo-Desorptionsschwelle auf. Resultierend werden höhere Zeitanteile als erforderlich in einem verbrauchsungünstigeren Betriebsmodus gefahren. Sinngemäß kann durch eine Ermittlung des Temperaturverlaufs im NOx-Speicherkatalysator auch nach einer Vollastfahrt mit sehr hohen Katalysatortemperaturen eine hinreichend ausgedehnte Auskühlung unter die Thermo-Desorptionsschwelle festgestellt werden, so daß zu einem möglichst frühen Zeitpunkt vom Betrieb mit $\Lambda = 1$ auf Magerbetrieb umgeschaltet werden kann.

[0005] Vorteilhaft wäre somit die Kenntnis der über eine Berechnung bestimmten örtlichen Temperaturverteilung im Katalysator, um idealerweise jedem infinitesimal kleinen Katalysatorelement eine Temperatur und resultierend - gegebenenfalls in Kombination mit weiteren Eingangsgrößen - spezifische Konvertierungs- und Speichereigenschaften zuzuordnen zu können. Aus der Summe der Eigenschaften jedes einzelnen Katalysatorelementes ergibt sich eine Verhaltensprognose des Gesamtkatalysators, die gegenüber der Betrachtung des Katalysators als einem Element deutlich präziser das reale Verhalten des Katalysators widerspiegelt. Zeitpunkt und Umfang von Eingriffen in den Betriebsmodus der Brennkraftmaschine richten sich dann besser nach dem realen Verhalten des Abgasreinigungssystems, da die Eingriffsschwellen näher an die kritischen Größen des Katalysators herangeführt werden können.

[0006] Seitens der Fahrzeug- und Katalysatorhersteller sind in der Vergangenheit mehrere Programme zur Berechnung der Katalysatortemperatur und des Konvertierungsverhaltens entwickelt worden. Die dabei verwendeten, sehr genau abbildenden Berechnungsalgorithmen sind jedoch wegen ihrer Struktur und ihres Umfangs nicht für die Einbindung in Motor-Steuergeräte geeignet, da der Softwareumfang, die Hardwareanforderungen, Art und Umfang der erforderlichen Eingangsgrößen und die Rechenzeiten deutlich über den Möglichkeiten gegenwärtiger und in naher Zukunft zu erwartender Steuergeräte liegen.

[0007] Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zur Berechnung der Temperaturverteilung zu schaffen, das bei wesentlich geringerem Umfang und unter Inkaufnahme einer gewissen Ungenauigkeit Aussagen über die örtliche Temperaturverteilung im Katalysator ermöglicht. Ferner wird ein Verfahren zur Steuerung eines Speicherkatalysators unter Verwendung dieses Berechnungsverfahrens angegeben.

[0008] Die Aufgabe wird durch das Verfahren nach Anspruch 1 und der Verwendung des Verfahrens nach Anspruch 14 gelöst. Bevorzugte Ausgestaltungen der Erfindung sind Gegenstand der Unteransprüche.

[0009] Gemäß dem erfindungsgemäßen Verfahren zur Berechnung der Temperaturverteilung wird zur Vereinfachung des Systems die radiale Temperaturverteilung als konstant angenommen, der Katalysator wird in n hintereinander ange-

ordnete Segmente unterteilt und die Temperatur jedes Segment bestimmt. Dabei ist n eine natürliche Zahl größer Eins. Die jedem n zugeordneten Segmente können dabei unterschiedlich lang sein, um eine bessere Anpassung zu erreichen. Durch Unterteilung des Katalysators in n hintereinander angeordnete Segmente wird die Zahl der zu berechnenden Katalysatorelemente auf ein praxisgerechtes Maß begrenzt.

[0010] Vorzugsweise wird der Katalysator in n Scheiben zu je $1/n$ seiner Gesamtlänge unterteilt. Die Zahl n kann dabei zwischen 1 und unendlich liegen; unter realen Berechnungsbedingungen wird n zwischen 2 und 50, vorteilhaft zwischen 3 und 12 und insbesondere zwischen 5 und 7 betragen.

[0011] Ein Wärmeübergang zwischen den Scheiben findet im wesentlichen nur durch das durchströmende Gas statt. Die axiale Wärmeleitung wird daher vorzugsweise zu Null gesetzt; sie kann jedoch für besondere Anwendungsfälle in die nachfolgend aufgelisteten Berechnungsalgorithmen mit aufgenommen werden.

[0012] Zunächst wird der adiabate Wärmeübergang zwischen dem Abgas und der Katalysatorscheibe und damit die durch thermische Energieübertragung erzielte Temperaturänderung des Abgases und der Katalysatorscheibe berechnet. Anschließend wird abhängig vom Abgasmassenstrom und von der Temperatur jeder einzelnen Katalysatorscheibe eine örtlich variable Umsetzung der anströmenden Schadstoffe angenommen. Die Wärmeverluste über den Katalysator werden näherungsweise in Abhängigkeit von der Temperatur der Katalysatorscheibe berücksichtigt.

[0013] Zur Berechnung des thermischen Wärmeübergangs zwischen Abgas und Katalysator an jeder einzelnen Katalysatorscheibe, des Energieübergangs durch Schadstoffumsetzung und der Wärmeverluste im Vorrohr können besonders vorteilhaft die im Anhang 1 und 2 beschriebenen Algorithmen genutzt werden.

[0014] Die Abgastemperatur im Vorlauf des Katalysators wird durch einen Temperaturfühler vor dem Katalysator oder durch einen Temperaturfühler hinter einem eventuell vorgeschalteten Vorkatalysator ermittelt. Im letzten Fall muß der Temperaturverlust über das Abgasrohr zwischen Vor- und Hauptkatalysator modelliert werden.

[0015] Zur Berechnung der Schadstoffumsetzung und der resultierenden Temperaturerhöhung wird zunächst abhängig von der Raumgeschwindigkeit ein Profil erstellt, das den Umsetzungsanteil der Restschadstoffe an den einzelnen Katalysatorscheiben angibt. Während bei niedrigen Raumgeschwindigkeiten die Reaktion überwiegend in der oder den vordersten Katalysatorscheiben stattfindet, verlagert sich mit zunehmender Raumgeschwindigkeit die Reaktion in die weiter hinten liegenden Katalysatorscheiben. Bei sehr hohen Raumgeschwindigkeiten kann sogar der Katalysator ganz oder teilweise überlaufen werden. Mit der Temperatur der aktuell berechneten Katalysatorscheibe wird aus einem Kennfeld die für diese Berechnungsschleife zutreffende Konvertierungsrate separat für jeden einzelnen Schadstoff ermittelt.

[0016] Die HC-, CO-, NOx-, O2- und H2- Rohemissionen können üblicherweise nicht gemessen werden. Es ist jedoch eine näherungsweise Bestimmung aus einem Kennfeld möglich, das aus den stationären, betriebswarmen Emissionen mit additiver oder multiplikativer Korrektur für dynamische Vorgänge und Kaltstarteffekte die realen Emissionen errechnet. Das Kennfeld wird in bekannter Weise auf einem Motorenprüfstand bestimmt.

[0017] Da moderne Abgasreinigungssysteme zunehmend aus einem motornahen kleinvolumigen Vorkatalysator und einem nachgeschalteten Hauptkatalysator bestehen, wird der Hauptkatalysator überwiegend nicht mehr mit der gesamten Rohemissionsmenge beaufschlagt, sondern lediglich mit einer Teilmenge. Abhängig von der Raumgeschwindigkeit des Vorkatalysators wird ein Rohemissionsanteil ermittelt, der nicht vom Vorkatalysator umgesetzt wird und somit den Hauptkatalysator beaufschlagt.

[0018] Das temperaturabhängige Konvertierungsverhalten des Vorkatalysators nach einem Kaltstart muß dabei nicht berücksichtigt werden, da davon auszugehen ist, daß der Vorkatalysator aufgrund seiner Anordnung, Beschichtung und Masse schneller anspringt als der Hauptkatalysator und daß bei Einsetzen katalytischer Reaktionen auf dem Hauptkatalysator der Vorkatalysator seine Arbeitstemperatur und damit seine maximale temperaturabhängige Konvertierungsrate bereits erreicht hat.

[0019] Mit der Temperatur und der Raumgeschwindigkeit wird – wie oben beschrieben – die Konvertierungsrate der Katalysatorscheibe berechnet. Die anströmenden berechneten Rest-Schadstoffe werden auf der Katalysatorscheibe ganz oder teilweise unter Beachtung des Restsauerstoffangebotes umgesetzt. Die Energiebilanz an der Katalysatorscheibe ist anschließend nochmals unter Einbeziehung der umgesetzten chemischen Energie durchzurechnen, um die abströmende adiabate Abgastemperatur zu ermitteln. Die Abgas- und Katalysatorscheibentemperatur werden abschließend noch um den Wärmeverlust korrigiert.

[0020] Eine bevorzugte Ausführungsform der Erfindung wird nachfolgend anhand der einzigen Figur erläutert.

[0021] Die Figur zeigt schematisch den Ablaufplan der Berechnung des Temperaturprofils eines Katalysators für einen Zeitschritt wobei als Berechnungsfrequenz ist 0,1 bis 10 Hz, vorteilhaft um 0,5 bis 2 Hz und insbesondere sind 1 Hz empfehlenswert ist.

[0022] Zur Berechnung der Temperaturverteilung des Katalysators werden verschiedene Eingangsgrößen benötigt, die in zwei Nebenrechnungen ermittelt werden, wobei die Eingangsgrößen zur Berechnung einer Scheibe i von den Ergebnissen der Berechnung der Temperatur der Scheibe $i-1$ abhängen können.

[0023] Aus der Größe Rohemissionen 1, die einem auf einem Prüfstand ermittelten Kennfeld entnommen werden, sowie einem Motordynamik-Korrekturfaktor 2 und einem Kühlmittel-Korrekturfaktor 3 werden in 4 die Emissionen vor dem Vorkatalysator berechnet. Die genannten Korrekturfaktoren 2 und 3 werden auf bekannte Weise bestimmt. In 5 wird aus den in 4 errechneten Emissionen die katalytische Umsetzung der Emissionen im Vorkatalysator berechnet, wobei zu dieser Berechnung eine weitere Eingangsgröße notwendig ist, und zwar die im Schritt 7 bestimmte Konvertierungsrate des Vorkatalysators für jeden Schadstoff, die abhängig ist von der Raumgeschwindigkeit des Abgases. Die Raumgeschwindigkeit des Abgases wird vom Block 6 bereitgestellt. Aus der im Block 5 erfolgten Berechnung der katalytischen Umsetzung der in 4 korrigierten Rohemissionen 1 ergibt sich die vor dem Katalysator anstehenden Emissionen 8, genauer gesagt die Emissionen 8, die vor der ersten Katalysatorscheibe anstehen. Bei diesen Emissionen handelt es sich um die HC-, CO-, NOx-, H2 und O2-Massenströme.

[0024] Mittels einer Messung der Luftmasse in Schritt 9 und der Messung der Temperatur in Schritt 10 wird in Schritt 11 der Massenstrom und die Temperatur des Abgases hinter dem Vorkatalysator bestimmt. Mittels beispielsweise des im Anhang 2. dargestellten Algorithmus wird im Schritt 12 eine Berechnung der Einflüsse des Vorrohres vorgenommen und

es ergibt sich im Schritt 13 die Temperatur und der Massenstrom des Abgases vor der ersten Katalysatorscheibe. Im Schritt 14 wird aus den Daten des vorangegangenen Schrittes 13 die vorläufige Temperatur $t'_{Kat,1}$ der ersten Katalysatorscheibe bestimmt. Die Bestimmung dieser vorläufigen Temperatur kann nach der im Anhang 1.1 angegebenen Gleichung (3) erfolgen. In Schritt 15 wird aus der vorläufigen Temperatur der ersten Katalysatorscheibe und die Temperatur des durch Exothermie berechnet und es ergibt sich die reale Temperatur $t_{Kat,1}$ der Katalysatorscheibe und die Temperatur des Abgases in der ersten Katalysatorscheibe $t_{Abg,1}$. Eine Möglichkeit der Berechnung ist durch die Algorithmen in Anhang 1.2 gegeben. Um die Temperaturerhöhung durch Exothermie berechnen zu können, werden die in Schritt 8 ermittelten Emissionen vor der ersten Katalysatorscheibe benötigt. Ferner wird die Konvertierungsrate der ersten Katalysatorscheibe, und zwar die Konvertierungsrate jedes im Abgas vorhandenen Schadstoffes. Diese Konvertierungsraten werden im Schritt 16 unter Berücksichtigung der raumgeschwindigkeitsabhängigen Konvertierungsrate des Vorkatalysators (Schritt 7) und der vorläufigen Temperatur $t'_{Kat,1}$ der ersten Katalysatorscheibe aus einem auf einem Motorprüfstand ermittelten Kennfeld bestimmt. Die Ermittlung der Temperatur der ersten Katalysatorscheibe ist damit abgeschlossen.

[0025] Im Schritt 17 wird, beispielsweise entsprechend dem der Gleichung 7 zugrundeliegenden Algorithmus die Abkühlung des Abgases ermittelt und es ergibt sich die Temperatur des Abgases vor der zweiten Katalysatorscheibe $t'_{Abg,2}$. Ferner wird die im Schritt 15 berechnete Temperaturerhöhung durch exotherme Reaktionen in der ersten Katalysatorscheibe verursacht. Diese Reaktionen haben Auswirkungen auf die Emissionen vor der zweiten Katalysatorscheibe, so daß im Schritt 18 die Emissionen vor der zweiten Katalysatorscheibe bestimmt werden, mit anderen Worten, die vor der zweiten Katalysatorscheibe anstehenden HC-, CO-, NOx-, H₂- und O₂-Massenströme. Das Verfahren erfolgt für die zweite und jede weitere Scheibe analog zur Berechnung der ersten Scheibe. Im Folgenden wird daher nur summarisch die Bedeutung der folgenden Verfahrensschritte aufgeführt, wobei in der Figur die Berechnung für drei Scheiben, nämlich 1, 2 und 3 bzw. n, dargestellt ist.

[0026] In Schritt 19 erfolgt die Bestimmung der vorläufigen Temperatur $t'_{Kat,2}$ der zweiten Katalysatorscheibe; in Schritt 20 wird die Erhöhung der Temperatur aufgrund der Exothermie berechnet ($t_{Kat,2}$, $t_{Abg,2}$); Schritt 21 beinhaltet die Ermittlung der Konvertierungsraten in der zweiten Katalysatorscheibe für jeden Schadstoff; die Abkühlung des Abgases und damit die Temperatur $t'_{Abg,3}$ des Abgases vor der dritten oder n-ten Scheibe wird im Schritt 22 festgelegt; im Schritt 23 werden die Emissionen vor der n-ten Katalysatorscheibe bestimmt; Schritt 24 beinhaltet die Bestimmung der vorläufigen Temperatur $t'_{Kat,n}$; Schritt 25 umfaßt die Berechnung der Temperaturerhöhung durch Exothermie und damit die Ermittlung von $t_{Kat,n}$ und $t_{Abg,n}$; in Schritt 26 werden die Konvertierungsraten in der n-ten Katalysatorscheibe für jeden Schadstoff ermittelt; und in Schritt 27 wird die Abgasabkühlung des von der n-ten Scheibe abströmenden Abgases $t'_{Abg,n+1}$ bestimmt.

Anhang

[0027] Für die hier anschließenden Betrachtungen werden die folgenden Definitionen getroffen:

- A_{Kat} Katalysatoroberfläche
 - A_{KRohr} Oberfläche Katalysatorcanning (Hüllrohr)
 - A_{Rohr} Rohroberfläche
 - $C_{p,Abg}$ spezifische Wärmekapazität des Abgases
 - $C_{p,Kat}$ spezifische Wärmekapazität des Katalysators,
 - $C_{p,Rohr}$ spezifische Wärmekapazität des Rohres
 - $H_{U,Schadstoff}$ Heizwert der Schadstoffe
 - m_{Kat} Katalysatormasse,
 - m_{Rohr} Rohrmasse
 - $\dot{m}_{Schadstoff}$ Schadstoffmassenstrom
 - \dot{m}_{Abg} Abgasmassenstrom
 - R_K Konvertierungsrate
 - t_{Abg} Abgastemperatur
 - t_{Kat} Katalysatortemperatur
 - t'_{Kat} Katalysatortemperatur am Eintritt in die Katalysatorscheibe
 - t_U Umgebungstemperatur
 - t_{Rohr} Rohrtemperatur
 - α Wärmeübergangskoeffizient
 - α_{AK} Wärmeübergangskoeffizient Abgas-Katalysator
 - α_{AR} Wärmeübergangskoeffizient Abgas-Rohr
 - α_{KRU} Wärmeübergangskoeffizient Katalysatorcanning-Umgebung
 - $\Delta\tau$ Zeitintervall
 - τ Zeit
- [0028] Weiter haben die verwendeten Indizes folgende Bedeutung:
- ' Eintritt in die Katalysatorscheibe
 - i örtlicher Laufindex
 - τ zeitlicher Laufindex

Berechnungsschleife für eine Katalysatorscheibe

Berechnung der thermisch adiabatischen Energieübertragung zwischen dem Abgas und der betrachteten Katalysatorscheibe zur Ermittlung der Konvertierungsrate der Katalysatorscheibe

[0029] Allgemein läßt sich die Erwärmung eines Katalysators durch die folgende Differentialgleichung (1) beschreiben:

$$m_{Kat} \cdot c_{p,Kat} \cdot \frac{dt'_{Kat}}{d\tau} = \alpha_{AK} \cdot A_{Kat} (t'_{Abg} - t'_{Kat}(\tau)), \quad (1)$$

[0030] Dabei erfüllt die obige Differentialgleichung (1) folgende Randbedingung:

$$t'_{Kat}(\tau = 0) = \tau_U \quad (2)$$

[0031] Aus der formalen Lösung der obigen Differentialgleichung unter Berücksichtigung der Randbedingung läßt sich die Temperatur des Katalysators in örtlichen (Laufindex i) und zeitlichen Schleifen (Laufindex τ) errechnen. Als Erwärmung ergibt sich am Eintritt in die Katalysatorscheibe i:

$$t'_{Kat} = t'_{Abg,i} + (t'_{Kat,i,\tau=0} - t'_{Abg,i}) \cdot \exp \left[\frac{-\tau \cdot \alpha_{AK} \cdot A_{Kat}}{m_{Kat} \cdot c_{p,Kat}} \right] \quad (3)$$

[0032] Bei einer zeitlichen Änderung der Abgastemperatur wird zur Berechnung der Laufindex τ neu gestartet und als Randbedingung die bisherige Katalysatortemperatur $t'_{Kat,i,\tau-1}$ eingesetzt. Es ist jedoch auch möglich, daß mit dem Zeitintervall $\Delta\tau$ und der Randbedingung für die vorherige Katalysatortemperatur gerechnet wird. Der Wärmeübergangskoeffizient α wird mit Hilfe der bekannten Nusseltzahl für den vorliegenden Strömungszustand näherungsweise ermittelt.

Berechnung der Energieübertragung durch die Schadstoffumsetzung

[0033] Mit Hilfe einer vorläufigen Katalysatortemperatur kann eine Konvertierungsrate R_K der aktuellen Katalysatorscheibe aus einem Kennfeld mit den Eingangsdaten $t'_{Kat,i}$ und der örtlichen Raumgeschwindigkeit ermittelt werden. Bei der Berechnung der Energieübertragung durch die Schadstoffumsetzung im Katalysator wird sowohl der vorhandene Restsauerstoffgehalt als auch die Konvertierung im Vorkatalysator berücksichtigt. Aus der Energiebilanz läßt sich in bekannter Weise die Temperatur des Abgases berechnen:

$$t_{Abg,i} = \frac{\dot{m}_{Abg} \cdot c_{p,Abg} \cdot t'_{Abg,i} + R_K \cdot \dot{m}_{Schadstoff} \cdot H_{U,Schadstoff}}{\dot{m}_{Abg} \cdot c_{p,Abg}} \quad (4)$$

[0034] Aus dieser Abgastemperatur, die die chemischen Umsätze berücksichtigt, läßt sich die reale Temperatur der betrachteten Katalysatorscheibe wie folgt ermitteln:

$$t_{Kat,i}(\tau) = t_{Abg,i} + (t_{Kat,i,\tau-1} - t_{Abg,i}) \cdot \exp \left[\frac{-\Delta\tau \cdot \alpha_{AK} \cdot A_{Kat}}{m_{Kat} \cdot c_{p,Kat}} \right] \quad (5)$$

[0035] Durch die Wärmeabgabe des Abgases an die Katalysatorscheibe kühlt sich das Abgas ab und aus der Energiebilanz

$$\dot{m}_{Abg} \cdot c_{p,Abg} \cdot t_{Abg,i} = \dot{m}_{Abg} \cdot c_{p,Abg} \cdot t'_{Abg,i+1} + \alpha_{AK} \cdot A_{Kat} \cdot (t_{Abg,i} - t_{Kat,i}) \quad (6)$$

ergibt sich die Abgastemperatur an der nächsten Katalysatorscheibe:

$$t'_{Abg,i+1} = \frac{\dot{m}_{Abg} \cdot c_{p,Abg} \cdot t_{Abg,i} - \alpha_{AK} \cdot A_{Kat} \cdot (t_{Abg,i} - t_{Kat,i})}{\dot{m}_{Abg} \cdot c_{p,Abg}} \quad (7)$$

Berücksichtigung von Verlusten

[0036] An der Katalysatoroberfläche treten Wärmeverlust, beispielsweise durch Abstrahlung oder Konvektion, auf, so daß sich ein radialer Temperaturgradient ausbildet. Diese Wärmeverlust werden überschlagsmäßig bestimmt. Wiederum über eine Energiebilanz

$$m_{Kat} \cdot c_{p,Kat} \cdot t_{Kat,j,\tau} = m_{Abg} \cdot c_{p,Abg} \cdot t'_{Kat,j,\tau+1} + \frac{\alpha_{KRU} \cdot A_{KRohr} \cdot (t_{Kat,j} - t_U)}{\Delta \tau} \quad (8)$$

5 wird dann die sich ergebende Temperatur der Katalysatorscheibe ermittelt:

$$t'_{Kat,j,\tau+1} = t_{Kat,j,\tau} - \frac{\alpha_{KRU} \cdot A_{KRohr} \cdot (t_{Kat,j} - t_U)}{m_{Kat} \cdot c_{p,Kat} \cdot \Delta \tau} \quad (9)$$

10

Berechnung des Vorrohres

[0037] Die Erwärmung des Vorrohres, das als isotherm angenommen wird, läßt sich wie folgt berechnen:

$$t_{Rohr}(\tau) = t_{Abg} + (t_{Rohr,\tau-1} - t_{Abg}) \cdot \exp \left[\frac{-\Delta \tau \cdot \alpha_{AR} \cdot A_{Rohr}}{m_{Rohr} \cdot c_{p,Rohr}} \right] \quad (10)$$

20 [0038] Die Berechnung der Abkühlung des Abgases kann über eine entsprechende Anwendung der Gleichung (7) erfolgen, wobei in dieser Gleichung die Größen des Katalysators durch diejenigen des Vorrohres ersetzt werden. Die Temperatur des Vorrohres wird durch Wärmeabgabe an die Umgebung herabgesetzt, wobei diese Verluste durch Konvektion oder Strahlung erfolgen. Unter Vernachlässigung der Strahlungsverluste und ausschließlicher Berücksichtigung der Konvektionsverluste, ergibt sich schließlich eine Temperatur des Vorrohres von:

$$t_{Rohr}(\tau) = t_U + (t_{Rohr,\tau-1} - t_U) \cdot \exp \left[\frac{-\Delta \tau \cdot \alpha_{RU} \cdot A_{Rohr}}{m_{Rohr} \cdot c_{p,Rohr}} \right] \quad (11)$$

30

BEZUGSZEICHENLISTE

- 1 Rohemissionen aus Kennfeld
- 2 Korrekturfaktor Motordynamik
- 35 3 Korrekturfaktor Kühlmitteltemperatur
- 4 Emissionen vor dem Vorkatalysator
- 5 Katalytische Umsetzung im Vorkatalysator
- 6 Raumgeschwindigkeit des Abgases
- 7 Konvertierungsrate des Vorkatalysators bei Arbeitstemperatur
- 40 8 Emissionen vor der ersten Katalysatorscheibe
- 9 Luftmassenmessung
- 10 Temperaturmessung Abgas nach Vorkatalysator
- 11 Abgas nach Vorkatalysator
- 12 Berechnung Vorrohr
- 45 13 Abgas vor erster Katalysatorscheibe
- 14 vorläufige Temperatur der ersten Katalysatorscheibe
- 15 Temperaturerhöhung durch Exothermie der ersten Katalysatorscheibe
- 16 Konvertierungsraten der ersten Katalysatorscheibe
- 17 Abgaskühlung
- 50 18 Emissionen vor der zweiten Katalysatorscheibe
- 19 vorläufige Temperatur der zweiten Katalysatorscheibe
- 20 Temperaturerhöhung durch Exothermie der zweiten Katalysatorscheibe
- 21 Konvertierungsraten der zweiten Katalysatorscheibe
- 22 Abgaskühlung
- 55 23 Emissionen vor der n-ten Katalysatorscheibe
- 24 vorläufige Temperatur der n-ten Katalysatorscheibe
- 25 Temperaturerhöhung durch Exothermie der n-ten Katalysatorscheibe
- 26 Konvertierungsraten der n-ten Katalysatorscheibe
- 27 Abgaskühlung

60

Patentansprüche

- 1. Verfahren zur Bestimmung der Temperatur eines Katalysators einer Brennkraftmaschine, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Katalysator in n Scheiben, $n > 1$, in seiner axialen Richtung aufgeteilt und die Temperatur jeder
- 65 2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß jede Scheibe eine Länge von $1/n$ der Gesamtlänge des

Katalysators aufweist.

3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Scheiben unterschiedliche Längen aufweisen
4. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß für n gilt: $2 \leq n \leq 50$.
5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß für n gilt: $3 \leq n \leq 12$.
6. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß für n gilt: $5 \leq n \leq 7$.
7. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die axiale Wärmeleitung gleich Null gesetzt wird. 5
8. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Temperaturänderung einer Katalysatorscheibe durch chemische Umsetzung der eine Katalysatorscheibe n anströmenden Schadstoffe als örtlich variable Funktion der zuletzt berechneten Katalysatorscheibentemperatur und des Abgasmassenstroms aus der Energiebilanz berechnet wird. 10
9. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß die Temperaturänderung einer Katalysatorscheibe n durch Wärmeverluste über den Katalysator als Funktion der zuletzt berechneten Temperatur der Katalysatorscheibe n bestimmt wird.
10. Verfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß der Umsetzungsanteil der Schadstoffe für jede Katalysatorscheibe als Funktion der Raumgeschwindigkeit bestimmt wird. 15
11. Verfahren nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß für jeden Schadstoff separat die Umsetzungsrate bestimmt wird.
12. Verfahren nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß die Umsetzungsraten der Schadstoffe einem Kennfeld entnommen werden. 20
13. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Berechnungsfrequenz zur Berechnung eines Temperaturprofils zwischen 0,1 bis 10 Hz liegt.
14. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Abgastemperatur im Vorlauf des Katalysators durch einen Temperaturfühler ermittelt wird, wobei der Temperaturverlust des Abgases über das Abgasrohr zwischen dem Ort des Fühlers und dem Eintritt des Abgases in den Katalysator bei der Berechnung berücksichtigt wird. 25
15. Verwendung des Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche zur Steuerung des Betriebsmodus einer magerbetreibbaren Brennkraftmaschine in einem Motorsteuergerät zur Bestimmung des Betriebsmodus der Brennkraftmaschine.

Hierzu 1 Seite(n) Zeichnungen

